

Мирослава Дрогомирецька, Максим Берташ

Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика, м. Київ, Україна

Морфологічна зрілість шийних хребців як модератор взаємозв'язку між типом сагітальної аномалії прикусу (скелетна проти зубоальвеолярної) та динамічним постуральним балансом у дітей і підлітків: статевो-стратифікований аналіз

► **Вступ.** Взаємозв'язок між сагітальними аномаліями прикусу та постуральним балансом залишається дискусійним через суперечливість результатів попередніх досліджень і недостатнє врахування біологічного віку та стадій скелетного дозрівання. Зрілість шийних хребців (Cervical Vertebral Maturation, CVM) може відігравати ключову роль у формуванні постуральних адаптацій, проте в дослідженнях «прикус–постав» цей підхід використовується обмежено.

Мета: оцінити роль CVM як модератора взаємозв'язку між типом сагітальної аномалії прикусу (скелетна проти зубоальвеолярної) та показниками динамічного постурального балансу у дітей і підлітків з урахуванням статевих особливостей.

Матеріали та методи. Проведено поперечне контрольоване дослідження за участю 250 осіб віком 9–18 років, зокрема 200 пацієнтів із сагітальними аномаліями прикусу (II клас 1 підклас, II клас 2 підклас та III клас за Енглеєм) та 50 осіб контрольної групи з фізіологічним прикусом. Тип аномалії визначали за клінічними даними та цефалометричним аналізом (кут ANB) з подальшим поділом на скелетні та зубоальвеолярні форми. Біологічний вік оцінювали за методом CVM (Baccetti et al., CS1–CS6) із групуванням на допубертатний, пубертатний та постпубертатний періоди. Динамічний постуральний баланс оцінювали за допомогою стабілоплатформи Zebris FDM (коливання центру маси, сагітальна нестійкість, нахил голови, розподіл навантаження на стопи). Статистичний аналіз включав ANOVA (однофакторний дисперсійний аналіз), непараметричні критерії, кореляційний аналіз Спірмена та модераційний аналіз (макрос PROCESS для SPSS, Model 1) з окремою стратифікацією за статтю та класом аномалії.

Результати. У пацієнтів зі скелетними формами аномалій прикусу виявлено найбільш виражені порушення динамічного постурального балансу в період пубертатного стрибка росту (CS3–CS4), тоді як за зубоальвеолярних форм значущих відхилень не зафіксовано. Модераційний аналіз показав статистично значущий вплив CVM на зв'язок між скелетною формою аномалії прикусу та постуральними показниками у хлопців ($p < 0,05$), тоді як у дівчат цей ефект не досяг рівня статистичної значущості.

Висновки. CVM є важливим біологічним модератором взаємозв'язку між типом сагітальної аномалії прикусу та динамічним постуральним балансом. Найбільш виражені постуральні порушення спостерігаються у хлопців зі скелетними формами аномалій в період пубертатного росту, що обґрунтовує доцільність урахування біологічного віку та статі під час функціональної оцінки пацієнтів з ортодонтичною патологією.

Ключові слова: сагітальні аномалії прикусу, CVM, шийні хребці, постуральний баланс, стабілометрія, скелетний II клас, скелетний III клас, біологічний вік, статеві відмінності.

Актуальність

Взаємозв'язок між оклюзією зубів та постуральним балансом досліджується протягом останніх десятиліть, проте результати залишаються суперечливими. Деякі роботи підтверджують вплив аномалій прикусу на постуральні зміни, тоді як інші не виявляють стабільної закономірності [1–3]. Однією з причин цих розбіжностей є гетерогенність досліджуваних груп, зокрема недостатнє розмежування скелетних та зубоальвеолярних форм аномалій прикусу, а також обмежене врахування факторів росту та дозрівання [4, 5].

Традиційно порушення прикусу розглядали як локальну стоматологічну проблему, проте сучасні дослідження підтверджують, що оклюзійні аномалії можуть супроводжуватися системними адаптаційними змінами, зокрема змінами положення голови, функціональним перевантаженням шийного відділу хребта та порушенням статичної і динамічної постуральної стабільності [6–8]. Систематичні огляди підкреслюють позитивну кореляцію між аномаліями прикусу та порушеннями постави, хоча й зазначають суперечливість результатів та гетерогенність методик [2, 3, 9].

Розмежування скелетних і зубоальвеолярних форм аномалій прикусу є ключовим для розуміння постуральних адаптацій. Сучасні систематичні огляди [9, 10] підтверджують, що аномалії шийного відділу хребта та порушення краніоцервікальної постави значно частіше трапляються у пацієнтів зі скелетним типом прикусу, ніж із зубоальвеолярним, особливо в період активного росту.

Краніоцервікальна морфологія відіграє ключову роль у підтримці постурального балансу завдяки біомеханічним та нейром'язовим взаємодіям між стоматогнатичною системою та шийним відділом хребта. Зміни сагітальних співвідношень щелеп можуть викликати компенсаторні адаптації положення голови, шийного відділу та розподілу маси тіла. Це особливо актуально в пацієнтів зі скелетними аномаліями прикусу, де кісткові диспропорції формують системні адаптації, що зачіпають весь постуральний ланцюг [11–14]. Сучасні дослідження підтверджують, що скелетний II клас асоціюється зі збільшеним шийним лордозом і постурою «голова вперед», тоді як III клас — із випрямленим шийним відділом хребта та заднім положенням голови [15–17].

Проблема використання хронологічного віку

Інтенсивність цих взаємозв'язків змінюється протягом росту. Однак більшість досліджень вико-

ристовують хронологічний вік для стратифікації пацієнтів, що є грубим маркером біологічної зрілості. Темпи скелетного дозрівання значно варіюють між індивідами, особливо в період статевого дозрівання [18]. Метод оцінки зрілості шийних хребців (Cervical Vertebral Maturation, CVM) за Baccetti et al. дозволяє визначити біологічний вік за морфологією тіл C2–C4 на бічній телерентгенограмі та є стандартом у плануванні ортодонтичного лікування [19, 20]. Однак у дослідженнях взаємозв'язку «прикус–постава» цей підхід застосовується вкрай рідко, а статеві відмінності в цьому контексті практично не вивчені [21].

Українські дослідження також підтверджують необхідність комплексного підходу до оцінки пацієнтів з аномаліями прикусу [22, 23].

Мета дослідження. Оцінити модерувальну роль стадії дозрівання шийних хребців (CVM) у взаємозв'язку між типом сагітальної аномалії прикусу (скелетний проти зубоальвеолярного) та динамічним постуральним балансом у пацієнтів із II та III класами з урахуванням статевих відмінностей.

Дизайн дослідження

Дослідження виконано як поперечне контрольоване з паралельними групами на основі даних, отриманих у рамках попереднього проспективного когортного дослідження (Drogomyretska et al., 2024). Усі процедури відповідали етичним принципам Гельсінкської декларації (2013 р. у переглянутій версії).

Учасники дослідження та формування груп

Відповідно до встановлених критеріїв включення, усіх пацієнтів було розподілено на три основні групи залежно від сагітального типу оклюзії:

- Перша дослідна група складалася з 144 пацієнтів із дистальною оклюзією (II клас за Енгле́м). З урахуванням клінічної позиції верхніх різців групу додатково поділили на дві підгрупи: II клас 1 підклас (80 осіб) — із вестибулярним нахилом (протрузією) різців, та II клас 2 підклас (64 особи) — з ретрузією верхніх різців.
- Друга дослідна група налічувала 56 пацієнтів із мезіальною оклюзією (III клас за Енгле́м).

Усі пацієнти дослідних груп не отримували ортодонтичного лікування раніше й не перебували на активному етапі лікування на момент обстеження.

- Контрольну групу ($n = 50$) склали практично здорові діти та підлітки з фізіологічним прикусом, без ортодонтичної патології та порушень постурального балансу. Контрольну групу підібрано

відповідно до віку та статі пропорційно до дослідних груп.

- Для всіх учасників дослідних груп (II клас 1 підклас, II клас 2 підклас та III клас) проводилася додаткова стратифікація за типом аномалії (скелетна проти зубоальвеолярної) на основі цефалометричного аналізу бічних телерентгенограм та за стадією дозрівання шийних хребців (CVM) за методикою Baccetti. Статистичні аналізи проводили окремо для хлопців і дівчат для оцінки статевих відмінностей.

Критерії включення:

- Вік від 9 до 18 років.
- Діагностована дистальна (II клас 1 підклас або II клас 2 підклас) або мезіальна (III клас) оклюзія — для дослідних груп.
- Можливість виконання рухів нижньої щелепи в повному об'ємі.
- Наявність письмової згоди батьків або законних представників.

Критерії виключення:

- Вроджені або набуті деформації хребта, таза або стоп.
- Неврологічні захворювання, що впливають на поставу або рухову функцію нижньої щелепи.
- Попередні травми хребта, таза або нижніх кінцівок.
- Раніше проведене ортодонтичне або ортопедичне лікування.
- Неможливість виконання рухів нижньої щелепи через біль або функціональні обмеження.
- Відсутність письмової згоди батьків чи законних представників.

Методи обстеження

1. Клінічне ортодонтичне обстеження

Проводили внутрішньоротовий та зовнішньоротовий огляд, оцінку співвідношення зубних рядів, визначення типу прикусу за Енглем, а також пальпацію скронево-нижньощелепних суглобів (СНЩС) і жувальних м'язів.

2. Телерентгенографія (ТРГ) та цефалометричний аналіз

Бічні телерентгенограми виконували у положенні природного нахилу голови (Natural Head Position, NHP) зі стандартними параметрами: відстань від фокуса до приймача зображення — 150 см, відстань від об'єкта до приймача — 15 см.

Цефалометричний аналіз (метод Штайнера / Steiner) включав:

- сагітальні параметри: кути SNA, SNB, ANB;
- положення під'язикової кістки та висоту під'язикового трикутника.

Класифікація форми аномалії:

- скелетна форма: II клас — $ANB > 5^\circ$; III клас — $ANB < 0^\circ$;
- зубоальвеолярна форма: ANB у межах $2-4^\circ$ за збережених скелетних співвідношень (аномалія визначається нахилом різців).

3. Оцінка зрілості шийних хребців (CVM)

Визначення стадії дозрівання шийних хребців проводили на тих самих бічних телерентгенограмах за методом Baccetti et al. (2005) [14]. Аналізували морфологію тіл другого (C2), третього (C3) та четвертого (C4) шийних хребців. Виділяли шість стадій (CS1–CS6) згідно з класифікацією, описаною в систематичному огляді Lucchese et al. (2022) [17], який підтверджує ефективність та поширеність методу CVM в ортодонтичній практиці. Відповідно до систематичного огляду та метааналізу Hussain et al. (2024), метод CVM демонструє високу надійність ($k = 0,62$) та відтворюваність ($k = 0,708$) за між- та внутрішньоспостережальної оцінки, що підтверджує його прийнятну точність для використання в клінічних дослідженнях [20] (табл. 1, рис. 1).

Оцінку стадій CVM проводили два незалежні експерти (ортодонт з досвідом понад 5 років). У разі виникнення розбіжностей остаточне рішення ухвалював третій дослідник. Для подальшого статистичного аналізу стадії CS1–CS2 об'єднували

Таблиця 1.

Стадії скелетного дозрівання шийних хребців за методом Baccetti et al. (2005)

Стадія	Характеристика тіл хребців	Відповідність росту
CS1	Нижні межі тіл хребців є плоскими	До піку росту
CS2	Увігнутість нижніх меж C2–C3	Початок піку росту
CS3	Увігнутість C2–C4	Пік росту (~ 85 %)
CS4	Увігнутість C2–C4, квадратна форма C3–C4	Пік росту (~ 100 %)
CS5	Плоскі межі, квадратні тіла	Після піку
CS6	Плоскі межі, високі тіла	Завершення росту

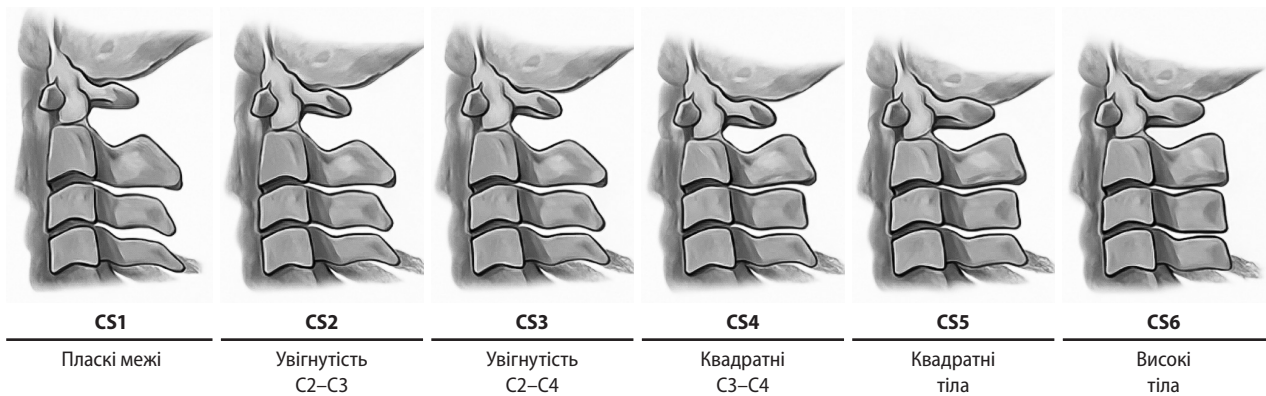


Рис. 1. Стадії дозрівання шийних хребців

Таблиця 2.

**Динамічні показники постурального балансу,
зареєстровані за допомогою стабілометричної платформи Zebris FDM**

Показник	Опис та умови реєстрації
Коливання центру тиску (CoP, мм)	Середнє зміщення центру тиску (Center of Pressure, CoP) у фронтальній площині під час спокійного стояння з відкритими очима (30 с)
Сагітальна нестійкість (мм)	Зміщення CoP у сагітальній площині під час легкого нахилу тулуба вперед (20°)
Нахил голови (°)	Кут між лінією, що з'єднує козелок вуха (tragus) та латеральний кут ока, і горизонтальною площиною під час стояння
Розподіл навантаження на стопи (%)	Співвідношення навантаження на передній та задній відділи стопи під час рівномірного перенесення ваги

в групу «допубертат», CS3–CS4 — «пубертатний пік», CS5–CS6 — «постпубертат».

4. Оцінка динамічного постурального балансу

Постуральний баланс оцінювали за допомогою стабілометричної платформи Zebris FDM (Zebris Medical GmbH, Німеччина) у співпраці з фахівцями лабораторії біомеханіки. Реєстрували такі динамічні показники (відповідно до протоколу, описаного у нашій попередній роботі [Drogomyretska et al., 2025])(див. табл. 2).

Усі вимірювання проводили триразово; для подальшого аналізу використовували середнє значення. Дослідження виконували у ранкові години за однакових умов (температура 22–24°C, вологість 40–60 %). Пацієнти перебували без взуття, у вільному одязі, з відкритими очима та з вільно опущеними вздовж тулуба руками.

5. Використання даних додаткових методів обстеження

Для оцінки стану зубоальвеолярного апарату та верифікації стадій CVM використовували результати ортопантомографії (ОПТГ) та (за наявності) конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ), отримані під час первинного обстеження пацієнтів у рамках попереднього дослідження

[Drogomyretska et al., 2026]. КПКТ виконували лише пацієнтам віком від 12 років за клінічними показаннями ($n = 45$) для оцінки зрілості середнього піднебінного шва за Angelieri et al. (2013) та верифікації стадій CVM. Протокол відповідав принципу ALARA.

Учасникам контрольної групи ТРГ та КПКТ не проводили через відсутність клінічних показань та з метою запобігання променевому навантаженню. Для порівняння краніоцервікальних параметрів використовували вікові та статеві-стратифіковані норми, отримані з літературних джерел [13, 14].

Статистичний аналіз

Статистичну обробку даних виконували за допомогою програмного забезпечення SPSS версії 26.0 (IBM Corp., США) та Jamovi версії 2.3 (Jamovi project) — для модераційного аналізу. Пороговий рівень статистичної значущості прийнято за $p < 0,05$ із застосуванням поправки Бонферроні для множинних порівнянь.

- Аналіз нормальності розподілу: за застосування критерій Шапіро–Вілکا.

- Порівняння середніх: для нормально розподілених даних — однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) з постгук-тестом Тьюкі; для даних, розподіл яких відрізнявся від нормально-

Таблиця 3.

Розподіл пацієнтів дослідних груп за стадіями CVM (n, %)

Стадія CVM	Хлопці (n = 85)				Дівчата (n = 115)				p
	скелетна (n = 38)		зубоальвеолярна (n = 47)		скелетна (n = 61)		зубоальвеолярна (n = 54)		
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	
CS1(допубертат)	4	10,5	6	12,8	6	9,8	5	9,3	0,68
CS2 (допубертат)	8	21,1	10	21,3	11	18,0	10	18,5	0,72
CS3 (пік росту)	11	28,9	14	29,8	19	31,1	17	31,5	0,91
CS4 (пік росту)	7	18,4	9	19,1	14	23,0	12	22,2	0,58
CS5–CS6 (постпубертат)	8	21,1	8	17,0	11	18,0	10	18,5	0,94

Примітка: p — рівень статистичної значущості (критерій χ^2 Пірсона) за порівняння розподілу за стадіями CVM між хлопцями та дівчатами (без урахування форми аномалії).

Таблиця 4.

Динамічні постуральні показники у пацієнтів зі скелетною формою аномалії оклюзії залежно від стадії зрілості середнього піднебінного шва (MPS)

Стадія MPS	n (скелетна)	Коливання центру тиску (мм)	Сагітальна нестійкість (мм)	Нахил голови (°)	Навантаження на передню стопу (%)
S1–S2 (допубертат)	35	2,9 ± 0,8	2,3 ± 0,7	3,6 ± 1,1	54 ± 5
S3–S4 (пубертатний пік)	48	4,3 ± 1,0*	3,6 ± 0,9*	5,4 ± 1,3*	61 ± 6*
S5–S6 (постпубертат)	16	3,3 ± 0,7†	2,6 ± 0,6†	4,1 ± 1,0†	56 ± 5

Примітки: * — $p < 0,05$ порівняно з допубертатом (S1–S2) (постгук-тест Тьюкі); † — $p < 0,05$ порівняно з пубертатним піком (S3–S4) (постгук-тест Тьюкі). Для пацієнтів із зубоальвеолярною формою аномалії статистично значущих змін показників залежно від стадії MPS не виявлено; всі значення перебували у межах вікових норм (дані не наведено для спрощення).

го, — U-критерій Манна-Уїтні (для двох груп) або критерій Краскела-Волліса (для трьох і більше груп).

- Кореляційний аналіз: розраховували коефіцієнт рангової кореляції Спірмена (ρ) для оцінки зв'язку між кутом ANB, стадією CVM та постуральними показниками.

- Модераційний аналіз: для оцінки впливу стадії CVM на силу зв'язку між типом оклюзії та постуральними показниками використовували модель лінійного регресійного аналізу з модерацією (макрос PROCESS для SPSS, модель 1). Залежна змінна — динамічні постуральні показники, незалежна змінна — тип оклюзії / форма аномалії, модератор — стадія CVM (CS1–CS6, порядкова змінна).

- Стратифікація за статтю: усі аналізи виконували окремо для хлопців ($n = 85$ у дослідних групах, $n \approx 26$ у контролі) та дівчат ($n = 115$ у дослідних групах, $n \approx 24$ у контролі) з урахуванням різних темпів статевого дозрівання.

Зіставлення між скелетною та зубоальвеолярною формами в межах кожної статі не виявило статистично значущих відмінностей ($p > 0,05$ для всіх порівнянь, критерій χ^2 ; дані не наведено).

Найбільша частка пацієнтів обох статей припадала на стадії пубертатного піку CS3–CS4 (хлопці — 48,2 %, дівчата — 53,9 %). Статеві відмінності у загальному розподілі за стадіями CVM не досягли статистичної значущості ($\chi^2 = 4,12$, $p = 0,53$). Водночас спостерігалася тенденція до більшої частки дівчат на пубертатних стадіях CS3–CS4 (60,2 % проти 39,8 % хлопців), що узгоджується з більш раннім статевим дозріванням дівчат. Розподіл пацієнтів на допубертатних стадіях CS1–CS2 був відносно рівномірним (46,7 % хлопців та 53,3 % дівчат).

Отримані дані підтверджують, що стадія CVM є незалежним біологічним маркером, який не асоціюється з формою аномалії (скелетна чи зубоальвеолярна), що дає змогу використовувати її як модератор у подальшому аналізі взаємозв'язку «оклюзія–поставка».

Для додаткової оцінки біологічного дозрівання верхньої щелепи та верифікації ростових змін, асоційованих із постуральним балансом, у частини пацієнтів визначали стадії зрілості середнього піднебінного шва (Midpalatal Suture, MPS) за методикою Angelieri et al. (2013). Аналіз проводили у пацієнтів зі скелетними формами

Таблиця 5.

**Динамічні поструральні показники у пацієнтів
зі скелетними та зубоальвеолярними формами аномалій оклюзії (II та III класи)
залежно від стадії CVM ($M \pm SD$)**

Клас	Форма аномалії	Показник	Допубертат (CS1–CS2)	Пубертатний пік (CS3–CS4)	Постпубертат (CS5–CS6)
II клас	Скелетна	<i>n</i>	22	30	10
		Коливання CoP (мм)	$2,8 \pm 0,7$	$4,4 \pm 1,0^{*†}$	$3,2 \pm 0,8$
		Сагітальна нестійкість (мм)	$2,2 \pm 0,6$	$3,7 \pm 0,9^{*†}$	$2,5 \pm 0,6$
		Нахил голови (°)	$3,5 \pm 1,0$	$5,6 \pm 1,3^{*†}$	$4,0 \pm 1,0$
		Навантаження перед/зад (%)			
	Зубоальвеолярна	<i>n</i>	25	24	15
		Коливання CoP (мм)	$2,0 \pm 0,6$	$2,2 \pm 0,7$	$2,1 \pm 0,6$
		Сагітальна нестійкість (мм)	$1,6 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,6$	$1,7 \pm 0,5$
		Нахил голови (°)	$2,5 \pm 0,8$	$2,8 \pm 0,9$	$2,6 \pm 0,8$
		Навантаження перед/зад (%)	51 ± 4	52 ± 4	51 ± 4
III клас	Скелетна	<i>n</i>	13	18	6
		Коливання CoP (мм)	$3,0 \pm 0,8$	$4,1 \pm 1,0^{*†}$	$3,4 \pm 0,7$
		Сагітальна нестійкість (мм)	$2,4 \pm 0,7$	$3,5 \pm 0,9^{*†}$	$2,7 \pm 0,6$
		Нахил голови (°)	$3,7 \pm 1,1$	$5,2 \pm 1,2^{*†}$	$4,2 \pm 1,0$
		Навантаження перед/зад (%)	55 ± 5	$60 \pm 6^{*†}$	57 ± 5
	Зубоальвеолярна	<i>n</i>	17	18	8
		Коливання CoP (мм)	$2,1 \pm 0,6$	$2,3 \pm 0,7$	$2,2 \pm 0,6$
		Сагітальна нестійкість (мм)	$1,7 \pm 0,5$	$1,9 \pm 0,6$	$1,8 \pm 0,5$
		Нахил голови (°)	$2,6 \pm 0,8$	$2,9 \pm 0,9$	$2,7 \pm 0,8$
		Навантаження перед/зад (%)	51 ± 4	52 ± 4	51 ± 4

Примітки: Дані наведено як $M \pm SD$; * — $p < 0,05$ порівняно з групами CS1–CS2 (постгрок-тест Тьюкі); † — $p < 0,05$ порівняно з групами CS5–CS6 (постгрок-тест Тьюкі). Стадії CVM: CS1–CS2 — допубертат, CS3–CS4 — пубертатний пік, CS5–CS6 — постпубертат.

сагітальних аномалій оклюзії, яким за клінічними показаннями виконували конусно-променеву комп'ютерну томографію.

Розподіл пацієнтів за стадіями MPS та відповідні показники динамічного пострурального балансу наведено у табл. 4.

Результати продемонстрували, що у пацієнтів зі скелетними формами аномалій оклюзії найбільш виражені порушення динамічного пострурального балансу спостерігалися в період пубертатного піку (S3–S4). У цій групі відзначалося статистично значуще збільшення коливання центру тиску (CoP), сагітальної нестійкості, нахилу голови та зміщення навантаження на передній відділ стопи порівняно з допубертатним періодом (S1–S2) ($p < 0,05$).

У постпубертатному періоді (S5–S6) спостерігалася тенденція до часткової нормалізації поструральних показників, однак їхні значення залишалися вищими порівняно з допубертатною групою. Отримані результати свідчать, що період активного скелетного росту асоціюється з максимальним проявом поструральної нестабільності

у пацієнтів зі скелетними формами сагітальних аномалій оклюзії.

У пацієнтів із зубоальвеолярними формами аномалій оклюзії статистично значущого впливу стадії MPS на показники пострурального балансу не виявлено, що додатково підтверджує провідну роль скелетного компонента у формуванні системних поструральних адаптацій.

Для оцінки впливу ступеня дозрівання шийних хребців на поструральний баланс проведено порівняння динамічних показників стабілометрії у пацієнтів із різними стадіями CVM. Усіх учасників стратифікували за біологічним віком на три групи: допубертат (CS1–CS2), пубертатний пік (CS3–CS4) та постпубертат (CS5–CS6). Аналіз виконано окремо для пацієнтів зі скелетною та зубоальвеолярною формами аномалій оклюзії у межах кожного скелетного класу (II та III класів). Результати представлено у табл. 5. Показники контрольної групи наведено у тексті після табл. 5.

Показники контрольної групи ($n = 50$), отримані під час стабілометричного обстеження, відповідали віковим нормам: коливання центру

тиску (CoP) — $1,9 \pm 0,5$ мм, сагітальна нестійкість — $1,5 \pm 0,4$ мм, нахил голови — $2,3 \pm 0,6^\circ$, навантаження на передній відділ стопи — $50 \pm 3\%$.

У пацієнтів із зубоальвеолярними формами аномалій оклюзії (як II, так і III класів) статистично значущих відмінностей динамічних поструральних показників між стадіями CVM або порівняно з контрольною групою не виявлено ($p > 0,05$ для всіх порівнянь).

У пацієнтів зі скелетними формами сагітальних аномалій оклюзії встановлено статистично значущий вплив стадії дозрівання шийних хребців на динамічні поструральні показники. Найвираженіші порушення пострурального балансу зафіксовано на стадіях пубертатного піку (CS3–CS4). Зокрема, у скелетному II класі коливання центру тиску (CoP) становило $4,4 \pm 1,0$ мм, сагітальна нестійкість — $3,7 \pm 0,9$ мм, нахил голови — $5,6 \pm 1,3^\circ$; у скелетному III класі — $4,1 \pm 1,0$ мм, $3,5 \pm 0,9$ мм та $5,2 \pm 1,2^\circ$ відповідно ($p < 0,05$ порівняно з допубертатним та постпубертатним періодами).

У постпубертатному періоді (CS5–CS6) відзначалася тенденція до часткової нормалізації показників, однак вони залишалися статистично значуще вищими від вікових норм ($p < 0,05$). Роз-

поділ навантаження на передній відділ стопи при скелетних формах на стадіях CS3–CS4 характеризувався значущим зміщенням (у II класі: $62 \pm 5\%$; у III класі: $60 \pm 6\%$), що статистично значущо відрізнялося як від допубертатного ($54 \pm 5\%$ та $55 \pm 5\%$ відповідно), так і від постпубертатного ($56 \pm 5\%$ та $57 \pm 5\%$) періодів ($p < 0,05$).

У пацієнтів із зубоальвеолярними формами аномалій оклюзії жоден із досліджених динамічних поструральних показників не демонстрував статистично значущих відмінностей залежно від стадії CVM ($p > 0,05$ для всіх порівнянь). Усі показники у цій групі залишалися у межах вікових норм, визначених для контрольної групи.

Отримані результати свідчать, що скелетний компонент аномалії оклюзії є визначальним чинником розвитку поструральних порушень, які досягають максимуму в період пубертатного піку росту (CS3–CS4). Відсутність аналогічної динаміки у групі зубоальвеолярних форм підтверджує, що ізольовані зубні аномалії не асоціюються із системними змінами пострурального контролю навіть у критичні періоди росту.

Результати, представлені у табл. 5, засвідчили наявність суттєвих відмінностей динамічних

Таблиця 6.

Результати модераційного аналізу (модель 1 PROCESS) впливу стадії CVM на зв'язок між формою аномалії оклюзії (скелетна проти зубоальвеолярної) та динамічним поструральним балансом, стратифіковано за класом аномалії (II та III класи) та статтю

Стать	Клас	Залежна змінна	β (взаємодія)	SE	p	95% ДІ	R^2
Хлопці ($n = 85$)	II клас	Коливання CoP, (мм)	0,44	0,12	0,009	0,20 – 0,68	0,36
		Сагітальна нестійкість, (мм)	0,41	0,11	0,008	0,19 – 0,63	0,33
		Нахил голови ($^\circ$)	0,53	0,14	0,001	0,25 – 0,81	0,43
		Навантаження на передню стопу, (%)	0,31	0,10	0,027	0,11 – 0,51	0,25
	III клас	Коливання CoP, (мм)	0,47	0,13	0,006	0,21 – 0,73	0,38
		Сагітальна нестійкість, (мм)	0,43	0,12	0,007	0,19 – 0,67	0,35
		Нахил голови ($^\circ$)	0,55	0,15	0,001	0,25 – 0,85	0,44
		Навантаження на передню стопу, (%)	0,33	0,11	0,021	0,11 – 0,55	0,27
Дівчата ($n = 115$)	II клас	Коливання CoP, (мм)	0,16	0,13	0,214	– 0,10 – 0,42	0,17
		Сагітальна нестійкість, (мм)	0,12	0,12	0,308	– 0,12 – 0,36	0,15
		Нахил голови ($^\circ$)	0,19	0,14	0,176	– 0,09 – 0,47	0,19
		Навантаження на передню стопу, %	0,08	0,09	0,418	– 0,10 – 0,26	0,12
	III клас	Коливання CoP, (мм)	0,18	0,14	0,190	– 0,10 – 0,46	0,18
		Сагітальна нестійкість, (мм)	0,14	0,12	0,270	– 0,10 – 0,38	0,16
		Нахил голови ($^\circ$)	0,21	0,15	0,160	– 0,09 – 0,51	0,20
		Навантаження на передню стопу, (%)	0,09	0,09	0,400	– 0,09 – 0,27	0,13

Примітки: β (взаємодія) — нестандартизований коефіцієнт регресії для терма «форма аномалії (0 — зубоальвеолярна, 1 — скелетна) $\times$ стадія CVM (порядкова змінна CS1–CS6)»; SE — стандартна похибка; 95% ДІ — 95 % довірчий інтервал; R^2 — коефіцієнт детермінації для повної моделі (предиктор + модератор + взаємодія). Жирним шрифтом виділено статистично значущі значення за $p < 0,05$.

постуральних показників залежно від стадії дозрівання шийних хребців виключно у пацієнтів зі скелетними формами сагітальних аномалій оклюзії (як II, так і III класів). Натомість у групі зубоальвеолярних форм подібної залежності не виявлено. Це дає змогу припустити, що біологічна зрілість (стадія CVM) може виступати не лише супутнім фактором, а й модератором, тобто змінною, яка модифікує силу взаємозв'язку між типом аномалії оклюзії (скелетна проти зубоальвеолярної) та показниками постурального балансу. Для перевірки цієї гіпотези проведено модераційний аналіз із використанням лінійної регресії (макрос PROCESS для SPSS, модель 1; Hayes, 2018). Залежними змінними обрано чотири динамічні постуральні показники: коливання центру тиску (CoP), сагітальна нестійкість, нахил голови та розподіл навантаження на передній відділ стопи. Незалежною змінною (предиктором) виступала форма аномалії оклюзії (0 — зубоальвеолярна, 1 — скелетна), модератором — порядкова змінна стадії CVM (CS1–CS6).

З урахуванням статевих відмінностей у темпах скелетного дозрівання всі моделі модераційного аналізу виконували окремо для хлопців і дівчат із додатковою стратифікацією за класом сагітальної аномалії оклюзії (II та III класи). Статистично значущим вважали ефект взаємодії «форма аномалії (скелетна проти зубоальвеолярної) × стадія CVM» за $p < 0,05$. Результати модераційного аналізу наведено у табл. 6.

Аналіз виконано окремо для II та III класів, а також за статтю із застосуванням макросу PROCESS для SPSS (модель 1; Hayes, 2018). У моделях досліджували модераційний ефект стадії CVM (CS1–CS6, порядкова змінна) на зв'язок між формою сагітальної аномалії оклюзії (скелетна проти зубоальвеолярної) та динамічними показниками постурального балансу.

У хлопців виявлено статистично значущий модераційний ефект стадії CVM для всіх досліджених показників у пацієнтів зі скелетними формами аномалій оклюзії ($p = 0,001 - 0,027$). Коефіцієнти взаємодії (β) були додатними та помірними за величиною (0,31–0,55), що свідчить про посилення впливу скелетної форми аномалії оклюзії на порушення постурального балансу зі збільшенням стадії біологічного дозрівання. Найбільший ефект зафіксовано для показника «нахил голови» ($\beta = 0,53-0,55$; $p = 0,001$), найменший — для «навантаження на передній відділ стопи» ($\beta = 0,31-0,33$; $p = 0,021-0,027$). Коефіцієнти детермінації ($R^2 = 0,25-0,44$) свідчать про помірний рівень поясненої дисперсії моделі.

У дівчат жоден із показників не продемонстрував статистично значущої взаємодії між формою аномалії оклюзії та стадією CVM ($p > 0,05$ для всіх моделей). Коефіцієнти β мали менші за абсолютною величиною значення (0,8–0,21), а їхні довірчі інтервали перетинали нуль, що свідчить про відсутність модераційного ефекту стадії CVM у жіночій вибірці.

Отримані результати підтверджують, що скелетний компонент сагітальних аномалій оклюзії (дистальна або мезіальна оклюзія зі зміненими кутовими співвідношеннями SNA, SNB, ANB) чинить системний вплив на постуральний контроль, який залежить від ступеня біологічної зрілості організму. У хлопців період пубертатного піку росту (CS3–CS4) асоціюється з максимальним проявом постуральних порушень, тоді як у допубертатному та постпубертатному періодах цей зв'язок є менш вираженим.

Відсутність модераційного ефекту у дівчат, імовірно, пов'язана з більш раннім завершенням пубертатного росту, внаслідок чого більшість пацієнток на момент обстеження перебувала у постпубертатних стадіях (CS5–CS6), де прояви постуральної нестабільності частково компенсуються. Також не виключається вплив статевих гормонів на пропріоцептивну чутливість і нейром'язову координацію, що може сприяти кращій адаптації до краніофасціальних диспропорцій, однак це потребує подальшого дослідження.

Отримані результати обґрунтовують необхідність диференційованого підходу до оцінки постурального балансу у пацієнтів зі скелетними формами сагітальних аномалій оклюзії з урахуванням статі та біологічного віку. У хлопців у період пубертатного піку (CS3–CS4) доцільним є більш детальне функціональне обстеження постурального контролю та, за потреби, залучення фахівців з реабілітації для корекції виявлених порушень.

З метою ілюстрації модераційного ефекту стадії дозрівання шийних хребців (CVM) на взаємозв'язок між типом аномалії оклюзії та показниками постурального балансу побудовано графік динаміки коливання центру маси (рис. 2).

Аналіз графічного зображення (рис. 2) показує, що у пацієнтів зі скелетними формами сагітальних аномалій оклюзії спостерігається більш виражене коливання центру тиску (CoP) порівняно із зубоальвеолярними формами. Найбільші значення показника відзначаються у період пубертатного піку дозрівання (CS3–CS4) з тенденцією до зниження у постпубертатному періоді (CS5–CS6).

У пацієнтів із зубоальвеолярними формами аномалій оклюзії суттєвих змін показника коли-

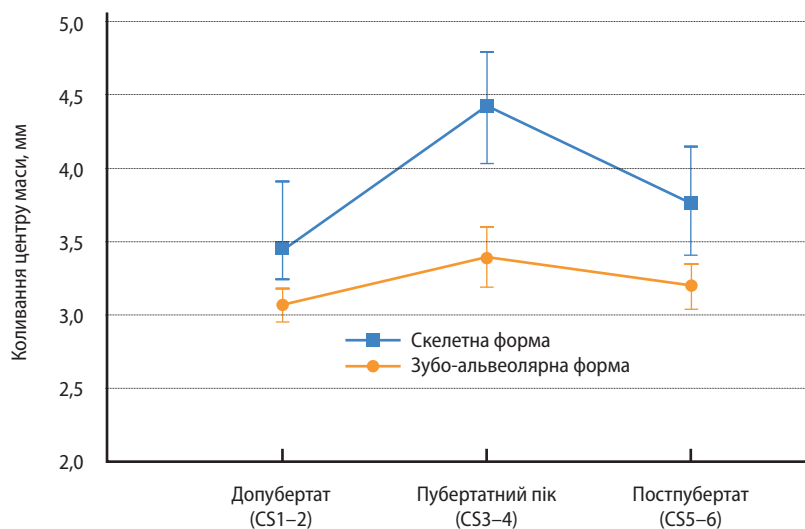


Рис. 2. Динаміка зміни коливання центру маси (мм) залежно від періоду дозрівання шийних хребців у пацієнтів зі скелетною та зубо-альвеолярною формами сагітальних аномалій прикусу

вання центру тиску (CoP) залежно від стадії CVM не спостерігається, а його значення залишаються відносно стабільними у межах усіх періодів дозрівання.

Різниця між скелетною та зубоальвеолярною формами є мінімальною у допубертатному періоді та максимальною на етапі пубертатного піку росту, що узгоджується з результатами модераційного аналізу (табл. 6).

Обговорення

Результати цього дослідження демонструють, що стадія дозрівання шийних хребців (CVM) виступає статистично значущим модератором взаємозв'язку між скелетною формою сагітальної аномалії оклюзії (II та III класи) та динамічним постуральним балансом. При цьому у нашій вибірці модераційний ефект досяг статистичної значущості у хлопців, тоді як у дівчат він виявився статистично незначущим. Водночас пацієнти із зубоальвеолярними формами аномалій не демонстрували відхилень постуральних показників від вікових норм незалежно від стадії CVM.

Отримані нами дані щодо стадій зрілості середнього піднебінного шва (табл. 4) повністю узгоджуються з основною закономірністю, виявленою для CVM (табл. 5): максимальні постуральні порушення за скелетних форм аномалій оклюзії припадають на період активного росту (стадії S3–S4 за Angelieri et al., 2013), що відповідає пубертатному піку. Збіг динаміки за двома незалежними маркерами біологічної зрілості (шийні хребці та піднебінний шов) суттєво посилює надійність наших висновків і свідчить про системний характер впливу скелетного дозрівання на постуральний баланс.

Наші дані підтверджують ключову роль розмежування скелетних та зубоальвеолярних форм. Систематичний огляд Róžańska-Perlińska et al. (2024) [2] вказав на позитивну кореляцію між порушеннями оклюзії та порушеннями постави, але зазначив високу гетерогенність методик — наше дослідження долає цю гетерогенність шляхом стратифікації за стадіями CVM та статтю. Ioniță et al. (2023) [3] наголошували на необхідності стандартизації постурального аналізу — ми використали стабілометричну платформу Zebris FDM із чітким протоколом.

Нещодавній систематичний огляд Dipalma et al. (2025) [9] підтвердив, що сагітальні скелетні аномалії оклюзії асоціюються зі зміненою краніоцервікальною поставою (збільшений шийний лордоз за II класу, випрямлення — за III класу). Наші результати розширюють ці дані, показуючи, що вираженість постуральних порушень (коливання центру тиску (CoP), сагітальна нестійкість, нахил голови) не є статичною, а досягає максимуму на стадіях пубертатного піку (CS3–CS4) — причому ця динаміка була чітко виражена у хлопців. Це узгоджується з результатами Peng et al. (2024) [10], які продемонстрували найсильнішу кореляцію між краніофасіальною морфологією та краніоцервікальною поставою саме у період пубертатного піку. Також Baе et al. (2025) [11] показали, що скелетний III клас асоціюється із затримкою статевого дозрівання, що може пояснювати деякі статеві особливості.

Чому стадія дозрівання хребців змінює силу зв'язку «скелетна аномалія — постуральний баланс»? По-перше, шийні хребці є частиною загального скелетного дозрівання; морфологічні зміни тіл C2–C4 відображають системний ріст. У період

пубертатного піку росту (CS3–CS4) темпи росту хребта є максимальними, що може посилювати біомеханічний дисбаланс [14, 19]. По-друге, змінюється нейром'язова координація: активний ріст скелета випереджає дозрівання пропріоцептивних ланцюгів, тому компенсаторні можливості постуральної системи тимчасово знижуються [15].

Щодо менш вираженого модераційного ефекту у дівчат у цій вибірці, існує кілька гіпотез, які потребують подальшої перевірки. Світова література не дає однозначної відповіді щодо статевих відмінностей у постуральному балансі за аномалій оклюзії. Деякі дослідження [22, 23] не виявляють суттєвих відмінностей між хлопцями та дівчатами, тоді як інші [24] вказують на більш раннє дозрівання постурального контролю у дівчат. Можливі пояснення отриманих результатів включають:

(1) дівчата досягають стадій CS3–CS4 у середньому раніше, і до моменту обстеження більша частка з них могла перебувати у постпубертатних стадіях (CS5–CS6), де постуральні порушення є менш вираженими;

(2) естрогени можуть модулювати пропріоцептивну чутливість та сенсомоторну інтеграцію [25];

(3) різниця в антропометричних показниках (нижче розташування центру тиску/центру маси) [26].

Водночас через поперечний дизайн та відносно невеликі підгрупи не можна виключати, що відсутність статистично значущого ефекту у дівчат частково зумовлена недостатньою статистичною потужністю. Подальші лонгітюдні дослідження з більшими вибірками є необхідними для з'ясування природи цих статевих відмінностей.

Відсутність будь-яких відхилень постуральних показників у групі зубоальвеолярних аномалій (табл. 5) підтверджує, що ізольоване зміщення зубів без порушення базальних скелетних співвідношень не призводить до системних адаптацій. Це узгоджується з висновками Perinetti et al. (2021) [15] про те, що лише скелетні диспропорції впливають на постуральний контроль.

Клінічне значення

Результати обґрунтовують індивідуалізований підхід: у пацієнтів зі скелетними формами сагітальних аномалій оклюзії (особливо у хлопців у період пубертатного піку за стадіями CVM CS3–CS4) доцільно проводити стабілометричне обстеження та за потреби залучати фахівця з фізичної терапії. Водночас відсутність статистично значущого модераційного ефекту у дівчат у цій

вибірці не означає повної відсутності клінічного ризику — клініцисти повинні керуватися індивідуальними показниками кожної пацієнтки.

Обмеження дослідження

Поперечний дизайн не дає змоги встановити причинно-наслідкові зв'язки. Відносно невелика кількість пацієнтів у підгрупах (особливо у постпубертатному періоді: $n = 16\text{--}19$) могла знизити статистичну потужність для виявлення ефектів у дівчат. КПКТ виконувалася лише пацієнтам віком ≥ 12 років за клінічними показаннями. Контрольна група не проходила ТРГ. Ми не оцінювали вплив загальної постави та фізичної активності.

Напрямки майбутніх досліджень

Лонгітюдні когортні дослідження з повторними вимірюваннями кожні 6 місяців дадуть змогу відстежити індивідуальні траєкторії змін постурального балансу. Доцільно включити складніші постуральні тести та порівняти ефекти різних ортодонтичних втручань.

Висновок

Стадія дозрівання шийних хребців (CVM) є статистично значущим модератором зв'язку між скелетними формами сагітальних аномалій оклюзії та порушеннями динамічного постурального балансу. У цій вибірці модераційний ефект виявлено у хлопців, тоді як у дівчат він не досяг рівня значущості, що може бути зумовлено як біологічними відмінностями (краніофасціальний ріст, естрогени), так і обмеженнями дизайну дослідження.

Отримані результати потребують подальшої верифікації у більших вибірках. Водночас врахування біологічного віку (стадії CVM) та статі є доцільним за оцінки постуральних розладів у пацієнтів з ортодонтичною патологією.

Внесок авторів

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5646-8791>

Myroslava Drohomiretska

Концепція та дизайн дослідження, наукове керівництво роботою, критичний аналіз рукопису, фінальне затвердження статті.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5949-6907>

Maksym Bertash

Збір та аналіз літературних даних, клінічний збір матеріалу, статистична обробка даних, написання чорнового варіанту статті, формулювання висновків.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Використання штучного інтелекту

Автори стверджують, що під час написання статті штучний інтелект не використовувався.

Згода на публікацію

Автори ознайомлені з результатами і схвалили остаточний варіант рукопису.

ПОСИЛАННЯ / REFERENCES

1. Nowak, M., Golec, J., Wiecezorek, A., & Golec, P. (2023). Is there a correlation between dental occlusion, postural stability and selected gait parameters in adults? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1652. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20021652>
2. Róžańska-Perlińska, D., Potocka-Mitan, M., Rydzik, Ł., et al. (2024). The correlation between malocclusion and body posture and cervical vertebral, podal system, and gait parameters in children: A systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(12), 3463. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm13123463>
3. Ioniță, C., Petre, A. E., Cononov, R. S., et al. (2023). Methods of postural analysis in connection with the stomatognathic system: A systematic review. *Journal of Medicine and Life*, 16(4), 507–514. DOI: <https://doi.org/10.25122/jml-2022-0327>
4. Głogowska, K., et al. (2024). The association between body posture and malocclusion — A literature review. *Journal of Education, Health and Sport*, 62, 315–330. DOI: <https://doi.org/10.12775/JEHS.2024.62.015>
5. Álvarez Solano, C., et al. (2023). To evaluate whether there is a relationship between occlusion and body posture as delineated by a stabilometric platform: A systematic review. *Cranio*, 41(4), 368–379. DOI: <https://doi.org/10.1080/08869634.2020.1857614>
6. Minervini, G., Franco, R., Marrapodi, M. M., et al. (2023). Correlation between temporomandibular disorders and posture evaluated through DC/TMD: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 12(7), 2652. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm12072652>
7. Smaglyuk, L., Echarri, P., Liakhovska, A. V., & Trofymenko, M. V. (2024). EMG activity of muscles of the craniomandibular system in subjects with narrowing upper jaw and posterior crossbite. *Medical Ecology Problems*, 28(1), 27–33. DOI: <https://doi.org/10.31718/mep.2024.28.1.04>
8. Zokaitė, G., Lopatienė, K., Vasiliauskas, A., et al. (2022). Relationship between craniocervical posture and sagittal position of the mandible: A systematic review. *Applied Sciences*, 12(11), 5331. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12115331>
9. Dipalma, G., Inchingolo, A. D., Pezzolla, C., et al. (2025). Head and cervical posture in sagittal skeletal malocclusions: Insights from a systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 14(8), 2626. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14082626>
10. Peng, H., Liu, W., Yang, L., et al. (2024). Craniocervical posture in patients with skeletal malocclusion and its correlation with craniofacial morphology during different growth periods. *Scientific Reports*, 14(1), 5280. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55840-w>
11. Bae, J., Lee, S., Kim, H., et al. (2025). Retention of pubertal cervical vertebral maturation stages in adults and its association with skeletal sagittal pattern. *International Orthodontics*, 23(2), 100891. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2025.100891>
12. Sandoval, C., et al. (2021). Relationship between craniocervical posture and skeletal class: A statistical multivariate approach for studying Class II and Class III malocclusions. *Cranio*, 39(2), 133–140. DOI: <https://doi.org/10.1080/08869634.2019.1603795>
13. Kui, A., Bereanu, A., Condor, A.-M., et al. (2024). Craniocervical posture and malocclusion: A comprehensive literature review of interdisciplinary insights and implications. *Medicina*, 60, 2106. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicina60122106>
14. Salazar-Lara, S. E., Carranza-Samanez, K. M., & Dulanto-Vargas, J. A. (2025). Sagittal skeletal relationship and craniocervical posture in Peruvian children. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 18(4), 368–374. DOI: <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-3086>
15. Baccetti, T., Franchi, L., & McNamara, J. A. (2002). An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthodontist*, 72(4), 316–323. DOI: [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2002\)072<0316:AIVOTC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2002)072<0316:AIVOTC>2.0.CO;2)

16. Al Sabry, A. R. A., Almotareb, F. L., Ishaq, R. A. R., et al. (2025). Assessment of cervical vertebral maturation and chronological age in Yemeni children and adolescents using lateral cephalometric radiographs. *Medical Science Monitor*, 31, e950470. DOI: <https://doi.org/10.12659/MSM.950470>
17. Perinetti, G., Contardo, L., & Silvestrini-Biavati, A. (2021). Dental occlusion and body posture: Current evidence and clinical implications. *Journal of Oral Rehabilitation*, 48(6), 649–657. DOI: <https://doi.org/10.1111/joor.13141>
18. Lucchese, A., Bondemark, L., Farronato, M., Rubini, G., Gherlone, E. F., Lo Giudice, A., & Manuelli, M. (2022). Efficacy of the cervical vertebral maturation method: A systematic review. *Turkish Journal of Orthodontics*, 35(1), 55–66. DOI: <https://doi.org/10.5152/TurkJOrthod.2022.21003>
19. Kuroiedova, V. D., Vakhnenko, O. M., & Stasiuk, A. A. (2021). Features of occlusion and posture in schoolchildren aged 6–13 years with hearing impairment. *World of Medicine and Biology*, (3), 102–106. [Kuroiedova, V. D., Vakhnenko, O. M., & Stasiuk, A. A. (2021). Особливості прикусу й постави в школярів 6–13 років із вадами слуху. *Світ Медицини та біології* (3), 102–106].
20. Lykhota, K. M., Petrychenko, O. V., & Zhang, Q. (2018). Relationship between bite anomalies and deformations with the functional state of the maxillofacial area. *World of Medicine and Biology*, 14(64), 78–82.
21. Hussain, U., Hassan, F. U., Kamran, M. A., & Alnaze, A. A. (2024). Inter-observer and intra-observer agreement of cervical vertebral maturation staging: A systematic review and meta-analysis. *International Orthodontics*, 22(3), 100874. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2024.100874>
22. Smith, L. B., et al. (2020). Sex differences in postural control during pubertal growth spurt: A cross-sectional study. *Gait & Posture*, 78, 112–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.03.012>
23. Michelotti, A., et al. (2022). Craniocervical posture and sagittal skeletal patterns: A longitudinal study. *European Journal of Orthodontics*, 44(3), 287–294. DOI: <https://doi.org/10.1093/ejo/cjab068>
24. Perinetti, G., et al. (2020). Lack of gender differences in postural stability among adolescents with Class II malocclusion. *Journal of Oral Rehabilitation*, 47(5), 612–619. DOI: <https://doi.org/10.1111/joor.12945>
25. Granacher, U., et al. (2019). Effects of age and sex on postural control during pubertal growth. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(9), 1345–1354. DOI: <https://doi.org/10.1111/sms.13457>
26. Leblanc, D. R., et al. (2021). Estrogen modulation of proprioceptive feedback: Implications for joint stability. *Journal of Neurophysiology*, 125(4), 1320–1330. DOI: <https://doi.org/10.1152/jn.00672.2020>
27. Kuźmiński, W., et al. (2021). Body posture and dental occlusion in children — A sex-dependent relationship? *Acta Bioengineering and Biomechanics*, 23(2), 101–110. DOI: <https://doi.org/10.37190/ABB-01847>

Cervical Vertebral Maturation as a Moderator of the Relationship Between Sagittal Malocclusion Type (Skeletal vs Dentoalveolar) and Dynamic Postural Balance in Children and Adolescents: A sex-stratified analysis

Drohomyretska, M., Bertash, M.

Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Introduction. The relationship between sagittal malocclusions and postural balance remains controversial due to inconsistent findings in previous literature and insufficient consideration of biological age and skeletal maturation. Cervical Vertebral Maturation (CVM) may play a key role in postural adaptations; however, its moderating effect on the occlusion–posture axis remains underinvestigated.

Aim. To evaluate the role of CVM as a moderator of the relationship between sagittal malocclusion type (skeletal vs dentoalveolar) and dynamic postural balance parameters in children and adolescents, accounting for sex differences.

Materials and Methods. A cross-sectional controlled study included 250 participants aged 9–18 years: 200 patients with sagittal malocclusions (Class II/1, Class II/2, and Class III) and 50 controls with physiological occlusion. The malocclusion type was determined based on clinical examination and cephalometric analysis (ANB angle), categorizing cases into skeletal and dentoalveolar forms. Biological maturity was assessed using the Cervical Vertebral Maturation (CVM) method (CS1–CS6 according to Baccetti et al.), categorized into prepubertal, pubertal, and postpubertal stages. Dynamic postural balance was evaluated using a Zebris FDM stabilometric platform (center of pressure [CoP] displacement, sagittal instability, head inclination, and plantar load distribution). Statistical analysis involved ANOVA, non-parametric tests,

Spearman correlation, and moderation analysis (PROCESS macro for SPSS, Model 1), stratified by sex and malocclusion class.

Results. Patients with skeletal malocclusions demonstrated the most pronounced impairments in dynamic postural balance during the pubertal growth peak (CS3–CS4), whereas dentoalveolar forms showed no significant deviations from age norms. Moderation analysis revealed a statistically significant moderating effect of CVM stage on the relationship between skeletal malocclusion and postural balance parameters in males ($p < 0.05$), whereas in females this effect did not reach statistical significance.

Conclusions. Cervical Vertebral Maturation (CVM) serves as a key biological moderator of the relationship between sagittal malocclusion type and dynamic postural balance. The most pronounced postural disturbances occur in males with skeletal malocclusions during the pubertal growth period, underscoring the necessity of incorporating biological age and sex into the comprehensive functional assessment of orthodontic patients.

Keywords: *sagittal malocclusion, CVM, cervical vertebral maturation, postural balance, stabilometry, skeletal Class II, skeletal Class III, biological age, sex differences.*

Стаття: надійшла до редакції 18.05.2026 р.; прийнята до друку 15.07.2026 р.,
опублікована 30.07.2026 р.

Дрогомирецька Мирослава Стефанівна

доктор медичних наук, професор,
завідувач кафедри ортодонції
Національного університету охорони
здоров'я України імені П. Л. Шупика,
м. Київ, Україна

 <https://orcid.org/0000-0002-5646-8791>

Берташ Максим Андрійович

аспірант кафедри ортодонції,
Національний університет
охорони здоров'я України
імені П. Л. Шупика,
м. Київ, Україна

 <https://orcid.org/0009-0001-5949-6907>